

AP20 Rec'd PCT/PTO 27 APR 2006

MÉDICAMENT COMPRENANT UN MONOMÈRE D'ALKYL-SUCRE RÉDUCTEUR POUR LE TRAITEMENT
DES DÉSORDRES INFLAMMATOIRES

La présente invention concerne de nouveaux monomères d'alkyl-sucre réducteur ainsi
5 que leur utilisation en tant que médicaments, notamment en tant qu'agents anti-
inflammatoires.

La réaction inflammatoire est une réponse du système immunitaire face à une agression
causée aux cellules ou aux tissus vascularisés d'un organisme par un pathogène tel que
10 les virus, les bactéries ou bien face à une agression chimique ou physique. Souvent
douloureuse, l'inflammation est généralement une réponse de guérison. Cependant dans
certains cas, (arthrite rhumatoïde, la maladie de Crohn, les maladies autoimmunes...) elle
peut avoir des conséquences plus graves que le stimulus d'origine.

Les réactions d'hypersensibilité de contact correspondent à des réactions d'immunité
15 spécifique dirigées contre des antigènes localisés sur des cellules ou dans les tissus, à
l'origine de lésions cellulaires ou de réactions inflammatoires. Ces réactions
d'hypersensibilité peuvent se développer dans le cadre des mécanismes de défense vis-
à-vis d'un microorganisme pathogène ou dans le cas de réactions allergiques. Elles font
intervenir différents types de cellules et en particulier les cellules de la peau, certains
20 leucocytes, sans oublier les cellules endothéliales dont le rôle est prépondérant dans les
réactions inflammatoires.

Les interactions intercellulaires qui interviennent alors impliquent généralement des
phénomènes de reconnaissances spécifiques entre ligands et récepteurs. Au cours de ces
vingt dernières années, de nombreux récepteurs de surface cellulaires ont été identifiés,
25 tels que des protéines capables d'assurer une reconnaissance spécifique avec certains
sucres comme le fucose et le rhamnose.

Les lectines sont des protéines implantées dans les membranes des cellules eucaryotes,
et jouent un rôle très important dans les phénomènes d'adhésion et de reconnaissance
entre cellules notamment lors des processus inflammatoires. Les lectines membranaires
30 sont impliquées en particulier dans l'endocytose, le trafic intracellulaire des
glycoconjugués et la perméabilité endothéliale. De plus, ces protéines, souvent
transmembranaires, contribuent à la reconnaissance spécifique de l'antigène (domaine

extracellulaire) et à l'activation des cellules (domaine intracellulaire). Les lectines peuvent reconnaître spécifiquement certains sucres, notamment le rhamnose.

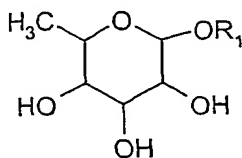
Depuis de nombreuses années, les alkyles polysaccharides (C_mG_n où m est le nombre de carbones dans la chaîne alkyle et n le nombre d'unités glycosidiques composant la tête hydrophile) constituent une intéressante famille de tensioactifs non ioniques. Par exemple, les alkyles polyglucosides (APGs) qui sont préparés industriellement à partir du glucose et d'alcool gras, trouvent de nombreuses applications en détergence mais également en cosmétologie en raison de leur bonne tolérance dermatologique.

La publication « cosmetic use formulation containing pentyl rhamnoside and cetyl rhamnoside », J P Houlmont and al, *International Journal of Cosmetic Science*, 2001, 23, 363-368, décrit la synthèse et l'utilisation du pentyle et cétyle rhamnoside comme co-tensioactif et tensioactif respectivement, ainsi que leur adéquation pour la formulation en cosmétique. Ces alkyles rhamnosides (en C_5 et C_{16}) sont produits directement par acétalisation du L-rhamnose dans un alcool approprié en présence d'un catalyseur acide. Ces alkyles rhamnosides sont décrits comme étant biocompatibles et peu toxiques.

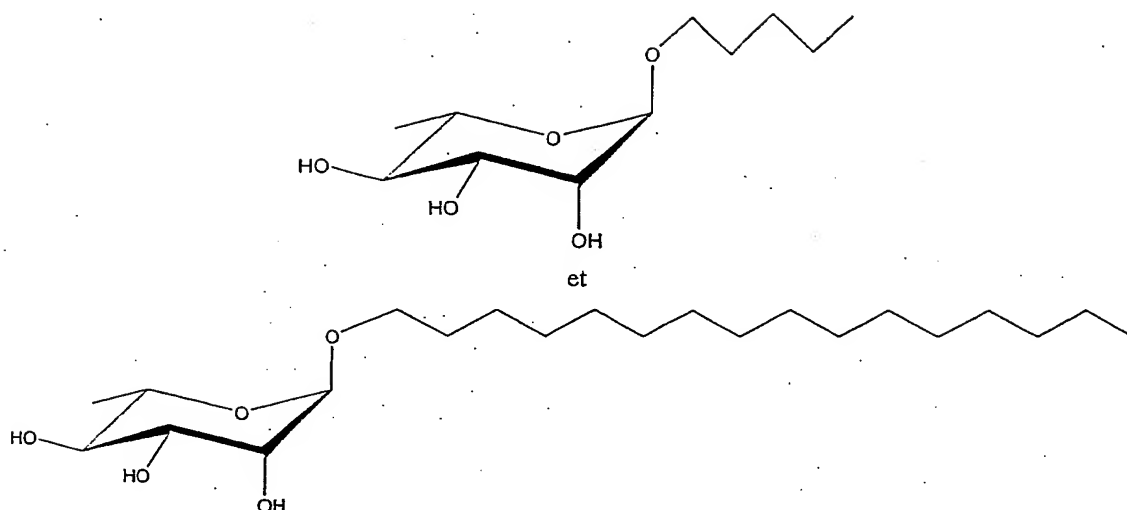
La demande de brevet EP 0 804 923 décrit une composition comprenant un alkyle éther polysaccharide qui comprend au moins deux unités sucres différentes et au moins un groupe hydroxyle substitué par une chaîne alkyle saturée en C_1 - C_{24} . Cette composition permet de protéger la peau envers les rayonnements ultraviolets.

La demande de brevet EP 0 804 924 décrit une composition destinée à prolonger la longévité d'un parfum sur la peau qui comprend au moins un alkyle d'éther polysaccharide comprenant au moins deux unités sucres différentes et au moins un groupe hydroxyle substitué par une chaîne alkyle en C_1 - C_{24} saturée.

La présente invention concerne des monomères d'alkyl-rhamnose ou d'alkyl-fucose de formule I :



dans laquelle R_1 représente un radical alkyle en C_2 - C_{40} , de préférence en C_2 - C_{24} , incluant toutes ses formes isomères, à l'exception des produits de formules



R₁ représente avantageusement un radical alkyle en C₅-C₁₂, de préférence en C₅-C₈.

- 5 Selon une variante avantageuse de l'invention, R₁ représente un radical choisi dans le groupe constitué par le pentyle, l'octyle, le décyle et l'undécyle.

Dans le cadre de la présente invention, on parlera indifféremment de monomère d'alkyl-rhamnose, réciproquement alkyl-fucose, ou d'alkyl-rhamnoside, respectivement alkyl-fucoside.

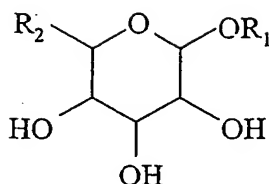
- 10 Le rhamnose ou le fucose peut être de configuration lévogyre ou dextrogyre. Selon une variante avantageuse de l'invention, le rhamnose ou le fucose est de configuration lévogyre.

Le rhamnose ou le fucose peut être sous la forme anomérique α ou β . Selon une autre variante avantageuse de l'invention, le rhamnose ou le fucose est sous la forme

- 15 anomérique α

La présente invention concerne également un médicament comprenant au moins un monomère de sucre réducteur dont une fonction hydroxyle, avantageusement la fonction hydroxyle anomérique, est substituée par un radical alkoxy en C₂-C₄₀, de préférence en

20 C₂-C₂₄. Dans le cadre de la présente invention, ces monomères de sucres réducteurs dont une fonction hydroxyle est substituée par un radical alkoxy sont dénommés des alkyl-sucres réducteurs. Les alkyl-sucres réducteurs répondent à la formule générale suivante :



dans laquelle R_2 représente le radical $-\text{CH}_3$ ou le radical $-\text{CH}_2\text{OH}$ et R_1 représente un radical alkyle en $\text{C}_2\text{-C}_{40}$, de préférence en $\text{C}_2\text{-C}_{24}$.

Au sens de la présente invention, on entend par « sucre réducteur » un sucre présentant, lorsqu'il est sous forme linéaire, une fonction aldéhyde libre portée par le carbone anomère. Les sucres réducteurs peuvent être mis en évidence dans une solution avec un test à la liqueur de Fehling. Comme exemple de sucres réducteurs, on peut notamment citer le glucose, le fructose, le maltose, le galactose et le lactose.

Dans le cadre de la présente invention, le sucre réducteur est avantageusement choisi dans le groupe constitué par le rhamnose, le fucose et le glucose.

Le rhamnose, le fucose ou le glucose peuvent être de configuration lévogyre ou dextrogyre. Selon une variante avantageuse de l'invention, le rhamnose, le fucose ou le glucose sont de configuration lévogyre.

Le rhamnose, le fucose ou le glucose peuvent être sous la forme anomérique α ou β .

Selon une autre variante avantageuse de l'invention, le rhamnose, le fucose ou le glucose sont sous la forme anomérique α .

Selon une variante avantageuse de l'invention, le radical alkoxy comprend de 5 à 12 atomes de carbone, de préférence 5 à 8 atomes de carbone. Ainsi R_1 représente avantageusement un radical alkyle en $\text{C}_5\text{-C}_{12}$, de préférence en $\text{C}_5\text{-C}_8$. Selon une variante avantageuse de l'invention, R_1 représente un radical choisi dans le groupe constitué par le pentyle, l'octyle, le décyle et l'undécyle.

L'invention est caractérisée de par le fait que le sucre réducteur, portant un radical alkyl, est uniquement sous forme monomérique.

Lesdits monomères d'alkyl-sucres réducteurs, en particulier les monomères d'alkyl-rhamnose, d'alkyl-fucose ou d'alkyl-glucose selon l'invention, peuvent être synthétisés en une seule étape réactionnelle, sans aucune étape de protection ou de déprotection des fonctions hydroxyles du sucre réducteur, par réaction de condensation de sucre

réducteur, en particulier du rhamnose, du fucose ou du glucose, avec un alcool, ayant un nombre d'atomes correspondant à la longueur de la chaîne alkyle.

Le procédé de synthèse utilisé est une réaction type réaction de Fischer avec l'acide *p*-toluène sulfonique (APTS) comme catalyseur acide. Elle s'effectue de manière « one-pot », les réactifs (sucre réducteur : en particulier rhamnose, fucose ou glucose, alcool, et catalyseur acide) sont mis en présence les uns avec les autres sans utiliser de solvant, le milieu est alors sous forme hétérogène.

Le mélange sucre réducteur, en particulier rhamnose, fucose ou glucose, alcool et catalyseur acide est avantageusement mis à réagir sous chauffage et éventuellement sous agitation à une température comprise entre 20 et 120°C, encore plus avantageusement entre 35 et 75°C. La température ne doit pas être trop élevée, notamment elle ne doit pas dépasser 120°C, afin d'éviter une dégradation des sucres. Le mélange est avantageusement mélangé de 5 minutes à 24 heures, encore plus avantageusement 3 heures.

La fonction anomérique étant la plus réactive, grâce à la stabilisation du carbocation par résonance, l'addition de l'alcool se fait uniquement en position 1.

L'alcool, en excès, dans un rapport molaire environ double par rapport au sucre réducteur, en particulier au rhamnose, au fucose ou au glucose, sert de solvant au produit de synthèse, le milieu réactionnel se trouve donc en phase homogène en fin de réaction. On choisit comme catalyseur acide un acide de Brønsted relativement fort, mais soluble en milieu organique, tel que l'APTS. L'acide sulfurique trop puissant et l'acide chlorhydrique n'ont donc pas pu être utilisés car ils sont solubles dans l'eau tandis que les acides carboxyliques n'étaient pas suffisamment forts. Il faut éviter de travailler en présence d'eau, car elle favoriserait davantage la réaction inverse d'hydrolyse plutôt que la réaction d'addition.

L'auto-condensation des monomères de sucres réducteurs, en particulier d'alkyl-rhamnose, d'alkyl-fucose ou d'alkyl-glucose, est limitée voire supprimée, bien que chaque fonction hydroxyle, d'un point de vue théorique, est à même de réagir avec une autre pour créer une liaison glycosidique et donc d'augmenter le degré de polymérisation, en raison de l'absence d'agents protecteurs. On suppose que cette auto-condensation est supprimée du fait que les 6-déoxy-sucres (rhamnose, fucose en particulier) sont dépourvus de fonction hydroxyle primaire et possèdent un groupement

méthyle à la place. Le groupement méthyle des 6-déoxy sucres favoriserait la formation d'alkyl-monosaccharides en supprimant une fonction hydroxyle très réactive portée par le carbone 6 et en ajoutant une gêne stérique au voisinage du carbone 4

Cette synthèse conduit pour l'ensemble des alkyl-sucres réducteurs à l'anomère α , configuration où la gêne stérique est minimisée et donc la plus stable thermodynamiquement. En particulier, cette synthèse conduit, pour la majorité des alkyl-rhamnosides à l'anomère α . Le rapport anomérique α/β pour les alkyl-fucosides est voisin de 2.

Selon une variante avantageuse de l'invention, l'eau formée pendant la réaction de condensation est éliminée, physiquement ou chimiquement. Comme exemple de technique d'élimination physique de l'eau formée pendant la synthèse, on peut notamment citer la distillation ou l'utilisation d'un adsorbant. Comme exemple de technique d'élimination chimique de l'eau formée pendant la synthèse, on peut notamment citer l'utilisation d'un agent de dessiccation.

L'eau formée pendant la réaction de condensation est avantageusement éliminée au moyen d'un agent de dessiccation choisi dans le groupe constitué par les carbonates, les sulfates, le chlorure de calcium, le pentaoxyde de phosphore, des tamis moléculaires ou des combinaisons de ces divers agents de dessiccation. L'agent de dessiccation peut être introduit directement dans le milieu réactionnel.

Selon une variante de l'invention, la réaction de condensation est réalisée à pression atmosphérique et sous atmosphère d'un gaz inerte, tel que l'argon ou l'azote.

Selon une autre variante de l'invention, la réaction de condensation est réalisée à pression réduite.

Selon une variante avantageuse de l'invention, à la fin de la réaction de condensation, le mélange est amené à plus basse température, de quelques degrés sous la température de réaction à 0°C, de préférence à température ambiante, et repris dans un solvant capable de solubiliser le monomère d'alkyl-sucre réducteur, en particulier le monomère d'alkyl-rhamnose, d'alkyl-fucose ou d'alkyl-glucose, ledit solvant est avantageusement le dichlorométhane. Le catalyseur acide est neutralisé à l'aide d'une base faible, de préférence l'hydrogénocarbonate, pendant une période allant de 1 minute à 24 heures, avantageusement 30 minutes.

Selon les différentes longueurs de chaîne, les produits sont purifiés, soit par chromatographie sur colonne pour les chaînes les plus courtes, soit par soxhlet pour les autres composés. Les deux méthodes peuvent être combinées si l'on recherche une très grande pureté.

- 5 Le principe de la purification par soxhlet consiste à mélanger le brut de la réaction (alkyl-sucré réducteur, en particulier alkyl-rhamnoside, alkyl-fucoside ou alkyl-glucoside, alcool résiduel, APTS, sucre réducteur, en particulier rhamnose, fucose ou glucose) avec de la silice pour chromatographie dans des rapports massiques voisins de 1 :4, et de placer ce mélange dans une cartouche d'extraction : couplage d'une méthode
- 10 d'extraction solide-liquide à chaud avec une méthode de chromatographie en continu.
- Le rendement massique de ce procédé de synthèse de monomères d'alkyl-sucré réducteur, en particulier de monomères d'alkyl-rhamnose, d'alkyl-fucose ou d'alkyl-glucose, est supérieur à 40%.

- 15 Le médicament selon l'invention est avantageusement destiné à réguler les mécanismes inflammatoires.

Le médicament est notamment destiné à la prévention ou au traitement des réactions ou pathologies allergiques, inflammatoires, immunitaires de la peau et/ou des muqueuses.

- Le médicament selon l'invention est également destiné à inhiber la réponse immune liée
- 20 au stress inflammatoire.

- Le médicament selon l'invention est notamment destiné à inhiber l'activation des leucocytes, tels que les polynucléaires humains et notamment les neutrophiles et les mastocytes humains empêchant la libération des médiateurs préformés de la réaction immunitaire. Il permet également l'inhibition de l'adhésion des lymphocytes circulants
- 25 et des cellules endothéliales empêchant ainsi la transmigration de ces leucocytes sur le lieu de l'inflammation. Il permet aussi l'inhibition de la sécrétion des cytokines kératinocytaires, activatrices des lymphocytes T et des cellules de Langerhans, telles que IL-1, TNF- α , ou des molécules d'adhésion, telles que ICAM-1, VCAM, qui contribuent au recrutement et au passage trans-endothélial des leucocytes. Le
- 30 médicament selon l'invention est également inhibiteur du phénomène d'hyperplasie kératinocytaire.

Le médicament selon l'invention est aussi inhibiteur du processus d'apprêtement de l'antigène par les cellules dendritiques de la peau, de la maturation des cellules présentatrices d'antigène, à savoir les cellules dendritiques dermiques et les cellules de Langerhans, du phénomène de reconnaissance entre les lymphocytes et les cellules
5 présentatrices d'antigène.

Ainsi, le médicament selon l'invention est destiné à la prévention ou au traitement des maladies choisies dans le groupe constitué par de l'eczéma atopique et/ou de contact, des dermatoses inflammatoires, des dermatites irritatives, de l'acné, des maladies auto-immunes telles que le psoriasis, de la photo-immuno-suppression, du vitiligo, du
10 pityriasis, des sclérodermies, de l'arthrite rhumatoïde, de la maladie de Crohn ou du rejet de greffe.

Le médicament selon l'invention est également destiné à la prévention et au traitement des dérives inflammatoires chroniques liées au vieillissement et ses conséquences. Le médicament est notamment destiné à la prévention ou au traitement des maladies
15 choisies dans le groupe constitué par les sensibilisations anaphylactiques, les anomalies pigmentaires de la peau, l'hypervascularisation dermique, les fissurations inflammatoires.

Selon une variante de l'invention, le médicament est destiné à diminuer le caractère allergisant et/ou irritant d'une composition ou d'un parfum.

20 Le médicament selon l'invention comprend avantageusement 0,001 à 50% en poids d'alkyl-sucres réducteurs.

Le médicament selon la présente invention peut être formulé pour être administré par toute voie. Il est avantageusement formulé pour être administré par voie topique, orale, sous-cutanée, injectable, rectale et génitale.

25 Lorsque le médicament est formulé pour être administré par voie orale, ledit médicament peut se présenter sous la forme de solution aqueuse, émulsion, comprimés, gélules, capsules, poudres, granules, solutions ou encore de suspensions orales.

Lorsque le médicament est formulé pour être administré par voie sous-cutanée, ledit médicament ou ladite composition peut se présenter sous la forme d'ampoules
30 injectables stériles.

Lorsque le médicament est formulé pour être administré par voie rectale, ledit médicament peut se présenter sous la forme de suppositoires.

Lorsque le médicament est formulé pour être administré par voie génitale, ledit médicament peut se présenter sous la forme d'ovules.

Le médicament selon l'invention est de préférence à application topique. Le médicament peut alors être formulé de manière à se présenter par exemple sous forme
5 de solution aqueuse, de crème blanche ou colorée, de pommade, de lait, de lotion, de gel, d'onguent, de sérum, de pâte, de mousse, d'aérosol ou de stick.

La quantité du médicament selon l'invention à administrer dépend de la gravité et de l'ancienneté de l'affection traitée. Naturellement, le médecin adaptera aussi la posologie en fonction du malade.

10 La présente invention concerne aussi une méthode de traitement cosmétique des peaux et/ou des muqueuses sensibles, irritées, intolérantes, à tendance allergique, âgées, soumises à un signal danger, présentant un trouble de la barrière cutanée, présentant des rougeurs cutanées ou présentant un déséquilibre immunologique non pathologique lié
15 au vieillissement intrinsèque, extrinsèque ou hormonal, caractérisée en ce qu'elle consiste à appliquer sur la peau et/ou les muqueuses une composition comprenant au moins un monomère de sucre réducteur dont une fonction hydroxyle, avantageusement la fonction hydroxyle anomérique, est substituée par un radical alkoxy en C_2-C_{40} , de préférence en C_2-C_{24} .

20 La présente invention concerne également une méthode de traitement cosmétique pour retarder le vieillissement naturel de la peau et/ou pour prévenir le vieillissement accéléré de la peau soumise aux agressions extérieures, notamment pour prévenir le vieillissement photo-induit de la peau, caractérisée en ce qu'elle consiste à appliquer sur la peau une composition comprenant au moins un monomère de sucre réducteur dont
25 une fonction hydroxyle, avantageusement la fonction hydroxyle anomérique, est substituée par un radical alkoxy en C_2-C_{40} , de préférence en C_2-C_{24} .

La composition cosmétique appliquée dans la méthode de traitement cosmétique selon l'invention comprend avantageusement 0,001 à 50% en poids d'alkyl-sucres réducteurs.

Le sucre réducteur est avantageusement choisi dans le groupe constitué par le rhamnose,
30 le fucose et le glucose.

Le rhamnose, le fucose ou le glucose peuvent être de configuration lévogyre ou dextrogyre. Selon une variante avantageuse de l'invention, le rhamnose, le fucose ou le glucose sont de configuration lévogyre.

Le rhamnose, le fucose ou le glucose peuvent être sous la forme anomérique α ou β .

5 Selon une autre variante avantageuse de l'invention, le rhamnose, le fucose ou le glucose sont sous la forme anomérique α .

Selon une variante avantageuse de l'invention, le radical alkoxy comprend de 5 à 12 atomes de carbone, de préférence 5 à 8 atomes de carbone. Selon une variante avantageuse de l'invention, R_1 représente un radical choisi dans le groupe constitué par

10 le pentyle, l'octyle, le décyle et l'undécyle.

Dans le cadre de l'invention, les alkyl-sucres réducteurs peuvent être préparés suivant le procédé décrit précédemment ou par tout autre procédé connu de l'homme du métier.

Lorsque la composition cosmétique est formulée pour être administrée par voie topique, ladite composition se présente par exemple sous forme de solution aqueuse, de crème
15 blanche ou colorée, de pommade, de lait, de lotion, de gel, d'onguent, de sérum, de pâte, de mousse, d'aérosol, de shampoing ou de stick.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaissent dans la suite de la description avec les exemples représentés ci-après. Dans ces exemples on se référera
20 aux figures suivantes. Ces figures et exemples sont destinés à illustrer la présente invention et ne peuvent en aucun cas être interprétés comme pouvant en limiter la portée.

Figure 1 : Viabilité des cellules endothéliales issues des ganglions lymphatiques
25 périphériques en présence de rhamnose.

Figure 2 : Viabilité des cellules endothéliales issues des ganglions lymphatiques périphériques en présence de pentyle-rhamnoside.

Exemple 1: Procédé de synthèse du dodécyl-rhamnoside

Dans un ballon à 2 voies de 100 mL, surmonté d'un réfrigérant droit lui-même équipé d'une garde desséchante (CaCl_2), on introduit sous balayage d'argon, 2 g de rhamnose (1 équivalent) et l'alcool gras (dodécyl alcool) à raison de 2 équivalents molaires (4,6 g).

Le catalyseur acide *p*-toluène sulfonique (APTS) est ajouté au mélange hétérogène précédent maintenu sous argon à raison de 0,1 équivalent molaire. Le milieu est agité (agitateur magnétique) à 70 °C pendant 3 heures.

Après réaction, le milieu devenu homogène, est refroidi à température ambiante. Une solution de dichlorométhane (20 mL) et une pointe de spatule de NaHCO_3 sont ajoutées au mélange laissé sous agitation et maintenu sous argon. Le milieu est ainsi abandonné pendant 30 minutes.

La solution est ensuite filtrée sur papier. Le filtrat (P2) contenant les alkyl-rhamnosides est évaporé et concentré en une huile visqueuse.

On récupère ainsi 1,9 g de P2 après filtration, et un rendement de 48 % après une étape de purification sur batch de silice.

La nature des alkyl-rhamnosides est déterminée par RMN, HPLC et spectrométrie de masse.

La spectrométrie de masse est réalisée par électrospray. Ces analyses font apparaître un degré de polymérisation maximal de 2 pour la tête polaire.

Les analyses RMN à 250 MHz se font dans le CDCl_3 ou D_2O sur un appareil multinoyaux Brücker AC250 fonctionnant à 250,13 MHz pour ^1H .

Les analyses chromatographiques sont réalisées en phase inverse sur une colonne greffée C18 (YMC-pack C18, 12 nm diamètre de pore moyen, 5 μm de diamètre des particules) et une colonne LiChrospher 100 RP-8 (125*4 mm I.D.). L'éluant choisi est un mélange acétonitrile-eau (40-60), avec un débit de 1,5 mL/min à 45 °C. Le détecteur est un détecteur à diffusion de la lumière Sedex 45.

Ces analyses permettent d'identifier l'alkyl-rhamnoside présent dans P2 qui est le dodécyl-rhamnoside.

Le pentyl-rhamnoside, l'octyl-rhamnoside, le décyl-rhamnoside et l'undécyl-rhamnoside peuvent être synthétisés suivant le même procédé en remplaçant

respectivement le dodécyl alcool par le pentyl alcool, l'octyl alcool, le décyl alcool et l'undécyl alcool.

Exemple 2 : réactivité des sucres vis à vis de l'alcool

5 Dans le cas des alcools linéaires à courte chaîne, la réactivité des différents sucres vis à vis de l'alcool est bonne. En effet, si on considère deux familles de composés, les alkyl-rhamnosides et les alkyl-glucosides, les résultats obtenus pour les pentyl-saccharides sont comparables. L'alcool, peu hydrophobe, assure un bon contact par une bonne
10 mouillabilité du sucre et la réactivité est donc accrue. Les rendements obtenus pour les alcools de plus courte chaîne sont toujours supérieurs à 50 %.

Dans le cas particulier des alcools dont la longueur de chaîne est supérieure à 8 carbones, les rendements des alkyl-glucosides décroissent très rapidement quand la longueur de la chaîne hydrocarbonée augmente. L'alcool devient en effet trop
15 hydrophobe et le contact avec le glucose très hydrophile est de moins en moins bien assuré.

Cette baisse de la réactivité est bien moins importante dans le cas du rhamnose (cf. tableau 1). Les rendements pour les alkyl-rhamnosides sont environ 8 fois supérieurs à ceux des alkyl-glucosides pour la chaîne en C₁₂ et encore presque 6 fois pour la chaîne
20 en C₁₆.

Rh-C ₅	50 %	Glu-C ₅	65 %
Rh-C ₁₂	47 %	Glu-C ₁₂	6 %
Rh-C ₁₆	27 %	Glu-C ₁₆	5 %

Tableau 1 : Rendements massiques obtenus après purification d'alkyl-glucosides et de β -alkyl-rhamnosides.

Dans le tableau 1, l'abréviation Rh représente le rhamnose et l'abréviation Glu
25 représente le glucose. Ainsi, par exemple, Rh-C₅ représente le pentyl-rhamnoside.

Une des raisons proposées pour expliquer cette réactivité est une plus grande hydrophobie des déoxy-sucres. En effet, la suppression de l'hydroxyle en position 6 et la présence du groupement méthyle permettent d'augmenter l'hydrophobie du sucre.

La présence du groupement méthyle sur le cinquième carbone permet également d'augmenter la densité électronique de l'oxygène par un effet inductif positif et ainsi stabiliser l'intermédiaire intervenant dans le mécanisme réactionnel. Le rhamnose est donc plus réactif que les hexoses vis à vis des alcools gras.

5

Exemple 3 : Aspect physique des alkyl-rhamnosides en fonction de la longueur de chaîne du radical alkyle

10 Les alkyl-rhamnosides ayant des chaînes linéaires en C₅, C₆, C₈, C₁₀, C₁₁, et oléyle sont sous forme d'un liquide visqueux.

Les alkyl-rhamnosides ayant des chaînes linéaires en C₁₄, C₁₆, C₁₈ et C₂₂ sont sous forme solide.

L'alkyl-rhamnoside ayant une chaîne linéaire en C₁₂ est un gel très compact.

15

Exemple 4: analyse pharmacologique des alkyl-rhamnosides

Les différentes cellules de l'immunité intervenant dans ces processus de l'inflammation ont été étudiées. Ce sont les cellules dendritiques de la peau, les cellules endothéliales, 20 certains leucocytes et les kératinocytes.

1) Principes des techniques de mesure de la viabilité cellulaire

❖ *technique de réduction du MTT, [3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide] (commercialisé par Sigma)* 25

Cette technique correspond à un test colorimétrique permettant la quantification des cellules vivantes, métaboliquement actives de manière non radioactive. Le MTT est une molécule cationique qui se fixe aux membranes des mitochondries de façon potentiel-dépendant. Au niveau des mitochondries le MTT sera réduit en bleu de formazan par la 30 déshydrogénase mitochondriale. Les cellules vivantes se colorent donc en bleu, à l'inverse des cellules mortes qui restent transparentes. La mesure de la viabilité est ensuite réalisée par mesure de la densité optique à l'aide d'un lecteur automatique.

Toutefois cette méthode d'analyse semble être mieux adaptée aux cellules adhérentes (type kératinocytes) que pour les cellules non adhérentes (monocytes et cellules dendritiques). Une autre étude a donc été envisagée pour conclure sur la cytotoxicité des oligorhamnosides vis-à-vis des cellules différenciées analysées : la cytométrie de flux
5 en présence d'iodure de propidium.

❖ *technique de réduction du sel de tétrazolium XTT.*

Il s'agit d'une technique permettant une quantification de la prolifération cellulaire et du nombre de cellules vivantes, (métaboliquement actives) sans incorporation d'isotopes
10 radioactifs. Le XTT, de couleur jaune, est une molécule cationique qui se fixe aux membranes des mitochondries de façon potentiel-dépendant, comme le fait le MTT.

Au niveau des mitochondries, le XTT sera réduit en formazan (orange) par la tétrazolium réductase mitochondriale. Cette méthode, plus onéreuse que la méthode du MTT, ne nécessite pas dans son protocole la lyse des cellules par le SDS pour libérer le
15 colorant. En effet le produit de réduction est soluble au sein de la cellule. La méthode est ainsi plus rapide. Les cellules vivantes, en absence et en présence d'un traitement avec un produit se colorent, à l'inverse des cellules mortes qui restent incolores. Le taux de formazan produit est détecté au spectrophotomètre pour une longueur d'onde de 450 nm et est directement proportionnel au nombre de cellules métaboliquement
20 actives.

2) tests de toxicité

❖ Des kératinocytes sont isolés et mis en culture à partir de biopsie de peau humaine
25 issue de donneurs anonymes suite à une intervention de chirurgie plastique. Les mesures de densité optique (absorbance) des 4 puits traités avec la même concentration de produits sont moyennées. Cette moyenne est comparée à la moyenne des mesures obtenues pour les 4 puits témoin (test t de Student –comparaison des moyennes– différence significative à 95 % si $p < 0,05$ et à 99 % si $p < 0,01$).

30 Les viabilités des cellules traitées sont exprimées en pourcentage par rapport au témoin (cellules non traitées) de 100 % ($DO_{traité} / DO_{témoin} \times 100$).

Le rhamnose ne présente pas de cytotoxicité (cf. tableau 2), même pour les concentrations les plus élevées.

	Témoin	Rhamnose 1 mg/mL	Rhamnose 0,1 mg/mL	Rhamnose 0,01 mg/mL	Rhamnose 0,001 mg/mL
% viabilité	100	104	98	100	95
p (Student)		0,504	0,679	0,991	0,407

Tableau 2 : Viabilité des kératinocytes en présence de différentes concentrations en rhamnose.

Le pentyl-rhamnoside présente une cytotoxicité pour des concentrations supérieures à 2 mg/mL (cf. tableau 3). Cette toxicité ne peut pas être expliquée par un effet délipidant de l'alkyl-rhamnoside étant donné qu'à une concentration nettement supérieure, voisine de 70 g/L, aucun effet de détergence n'a été mis en évidence lors des études sur les vésicules multilamellaires de phosphatidylcholine.

	Témoin	Rh-C ₅ 5 mg/mL	Rh-C ₅ 2 mg/mL	Rh-C ₅ 1 mg/mL	Rh-C ₅ 0,1 mg/mL
% viabilité	100	40	53	74	94
p (Student)		<0,01	<0,01	<0,01	0,145

Tableau 3 : Viabilité des kératinocytes en présence de différentes concentrations en pentyl-rhamnoside (Rh-C₅).

Des tests de toxicité ont également été effectués avec l'undécyl-rhamnose et l'octadécyl-rhamnose. Les résultats sont donnés dans le tableau 4 suivant :

	Témoin	Rh-C ₁₁ 500 µg/mL	Rh-C ₁₁ 250 µg/mL	Rh-C ₁₁ 100 µg/mL	Rh-C ₁₁ 10 µg/mL
% viabilité	100	30	11	17	81
p (Student)		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Témoin	Rh-C ₁₈ 500 µg/mL	Rh-C ₁₈ 250 µg/mL	Rh-C ₁₈ 100 µg/mL	Rh-C ₁₈ 10 µg/mL
% viabilité	100	27	25	87	137
p (Student)		<0,01	<0,01	<0,05	<0,01

Tableau 4 : Viabilité des kératinocytes en présence de différentes concentrations en C₁₁ et C₁₈ alkyl rhamnosides.

❖ Des cellules endothéliales ont été mises en culture, immortalisées et stabilisées dans leur phénotype. Les lignées cellulaires étudiées sont les cellules endothéliales d'appendice, les cellules endothéliales microvasculaire de cerveau, les cellules endothéliales de ganglions lymphatiques mésentérique, les cellules endothéliales de ganglions lymphatiques périphériques, les cellules endothéliales microvasculaires de la peau.

Le test de cytotoxicité est réalisé au moyen d'un test biochimique sur la transformation d'un sel de tétrazolium, le MTT. Les résultats obtenus sont très positifs, aucune toxicité n'est mise en évidence, avec le pentyl-rhamnoside (cf. figures 1 et 2). La viabilité est en effet toujours supérieure à 85 %, et ceci pour toutes les lignées de cellules étudiées.

Figure 1 : Viabilité des cellules endothéliales issues des ganglions lymphatiques périphériques en présence de rhamnose.

Figure 2 : Viabilité des cellules endothéliales issues des ganglions lymphatiques périphériques en présence de pentyl-rhamnoside.

On note en particulier l'apparition d'un pic de stimulation correspondant à 4 heures d'incubation, temps nécessaire pour l'initiation de la synthèse protéique. La présence de ce pic est intéressante car il traduit que les cellules tolèrent les oligorhamnosides (absence de toxicité), et les assimilent. Ces produits semblent enrichir le milieu de culture.

Ces résultats sont similaires pour les autres lignées de cellules endothéliales.

3) Influence des alkyl-rhamnosides sur des cellules humaines cultivées en milieu pro-inflammatoire

- Dosage de la PGE₂ libérée par les KHN stimulées par le PMA.

Les alkyl-rhamnosides ont pu être évalués en tant qu'inhibiteur de la libération de PGE₂ dans les surnageants cellulaires. Ces produits sont mis en présence des KHN en même temps que le PMA à 1 ng/mL. Chaque condition testée est évaluée sur 4 puits de KHN pour la stimulation.

Les abréviations KHN signifient kératinocytes humains normaux.

Les abréviations PMA signifient phorbol-12-myristate-13-acétate.

Après 24 heures de traitement, les résultats résumés dans le tableau 5 suivant représentent les moyennes des valeurs des concentrations en PGE₂ (pg/mL) données.

dans chacun des surnageants cellulaires stimulés ou non et rapportées à une quantité de cellules exprimées en μg .

	1 mg/mL	0,5 mg/mL	0,1 mg/mL	0,05 mg/mL	0,02 mg/mL	0,01 mg/mL
Rh-C ₅	89 %	84 % 63%	64 %	61 %	29 %	-
Rh-C ₁₁					28%	28%
Rh-C ₁₈					2%	

Tableau 5 : Pourcentage d'inhibition de la libération de PGE₂ en fonction de la concentration

des alkyl-rhamnosides (Rh-C₅, Rh-C₁₁ et Rh-C₁₈).

Le pentyl-rhamnoside présente une plus forte inhibition (80 à 60 %) pour des concentrations de 1 mg/mL à 0,05 mg/mL. Son activité diminue à 0,02 mg/mL : 29 % d'inhibition.

Le pentyl-rhamnoside présente une forte inhibition, de 60 à 80 %, pour des concentrations allant de 1 mg/mL à 50 $\mu\text{g/mL}$.

L'undécyl-rhamnoside présente une activité comparable au pentyl rhamnoside dans la gamme de 20 $\mu\text{g/mL}$, ce qui lui confère une activité inflammatoire comparable.

4) Adhésion entre cellules endothéliales et lymphocytes

L'influence des alkyl-rhamnosides sur l'adhésion entre lymphocytes et cellules endothéliales non-activées a été évaluée, notamment la lignée de cellules endothéliales issues de la peau (HSkMEC). Ces cellules ont été mises en présence d'un fort activateur, le TNF- α .

L'adhésion est réalisée *in-vitro* en condition statique. Les cellules endothéliales sont ensemencées dans des puits afin d'obtenir une monocouche. Les cellules sont prétraitées pendant 5 heures en présence ou en absence d'alkyl-rhamnosides. Le dodécyl-rhamnoside nécessitant une teneur de 0,1 % volumique pour être soluble dans les milieux de culture, un témoin contenant 0,1 % de glycérol sera également analysé. En effet, le glycérol à 0,1 % stimule l'adhésion des lymphocytes sur HSkMEC (31 %) alors qu'il n'a pas d'effet sur les autres lignées de cellules endothéliales.

La suspension de lymphocytes marqués est à une concentration permettant d'obtenir un rapport de 5 lymphocytes pour une cellule endothéliale. L'adhésion est réalisée durant 30 minutes à température ambiante. Le marqueur se fixe irréversiblement aux lipides de la membrane plasmique des cellules sans affecter les propriétés biologiques de la membrane, ni la viabilité cellulaire.

L'adhésion des lymphocytes sur les cellules endothéliales est quantifiée par cytométrie de flux.

Les premiers tests d'adhésion sur les lignées de cellules endothéliales non activées ont donné les résultats suivants. Le pentyl-rhamnoside 1,1 mM induit une augmentation de l'adhésion des lymphocytes sur HPLNEC.B3 (37,9 %) et une très forte augmentation de l'adhésion sur HMLNEC par rapport au rhamnose (96,7 %). Il a un effet inhibiteur de l'adhésion des lymphocytes sur HSkMEC de 37,3 % par rapport au rhamnose. Il n'a pas ou très faiblement d'effet sur HAPEC et HBrMEC.

Le dodécyl-rhamnoside à 1,5 μ M diminue l'adhésion des lymphocytes sur HSkMEC de 34,2 %. Il augmente cette adhésion sur HAPEC de 44,1 % et n'a pas d'effet sur HBrMEC, HPLNEC.B3 et HMLNEC.

Les résultats de l'adhésion entre lymphocytes et les cellules endothéliales activées, résumés dans le tableau ci-dessous (cf. tableau 5), sont issus du regroupement de trois expériences d'adhésion.

	Milieu	TNF	Rapport Témoin/TNF
Témoin	1,000	2,730	2,7
Rhamnose	1,630	2,450	1,5
Pentyl-rhamnose	1,900	3,100	1,6
Témoin glycérol	2,200	3,200	1,45
Dodécyl-rhamnose	3,200	1,900	0,59

Tableau 5 : Résultats de l'adhésion entre lymphocyte et cellules endothéliales (HSkMEC) en présence des dérivés rhamnosylés.

L'effet du dodécyl-rhamnoside à 1,5 μ M est confirmé sur les cellules endothéliales avec une inhibition de l'adhésion de 63 %.

Exemple 5: évaluation du potentiel irritant cutané sur épidermes reconstitués du pentyl rhamnoside

L'évaluation du potentiel irritant cutané sur épiderme reconstitué est une méthode alternative à l'expérimentation animale pour l'évaluation du potentiel irritant cutané sur épiderme reconstitué. Le principe est basé sur l'évaluation du potentiel irritant du produit testé par :

- Etude de la cytotoxicité par quantification de la libération de lactate deshydrogénase (LDH) et par réduction du MTT en sel de tétrazolium
- Etude des marqueurs de l'inflammation par quantification de la libération des interleukines IL 1 α et IL8.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous (cf. tableau 6)

		Rh-C ₅ Concentration 30%	Triton 4%
24 heures d'application	MTT % viabilité	89,9	3,0
	Rapport LDH	1,4	124,7 I
	Rapport IL _{1α}	2,4	36,0
	Rapport IL ₈	5,2	3,7
72 heures d'application	MTT % viabilité	82,1	1,5
	Rapport LDH	1,0	77,3
	Rapport IL _{1α}	2,0	7,2
	Rapport IL ₈	4,0	0,9
Classification		Légèrement irritant	Irritant

Tableau 6 : Résultats de l'évaluation du potentiel irritant cutané sur épidermes reconstitués du pentyl rhamnoside

Les résultats montrent que le pentyl rhamnoside, à une concentration de 30%, est faiblement irritant.

Exemple 6: Etude du pouvoir sensibilisant par la méthode LLNA du pentyl rhamnoside

Les abréviations LLNA signifient Local lymph Node Assay, qui est une méthode alternative à l'expérimentation sur cobaye du pouvoir sensibilisant.

Ce test détermine le potentiel sensibilisant de la substance d'essai en mesurant la prolifération des lymphocytes dans les ganglions lymphatiques auriculaires. La prolifération des lymphocytes sera mesurée en déterminant l'incorporation de méthylthymidine tritiée.

10 Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous (cf. tableau 7)

Concentrations étudiées	Solvant	Concentration 1 : 3%	Concentration 2 : 15%	Concentration 3 : 30%	DNCB Dilution 0,25 %
DPM-BLANC	13814,5	9921,5	8328,5	6378,5	125622,5
DPM/Ganglion	1726,8	1240,2	1041,1	797,3	15702,8
RATIO		0,7	0,6	0,5	9,1
Conclusion		Non sensibilisant	Non sensibilisant	Non sensibilisant	Sensibilisant

Tableau 7 : Résultats de l'étude du pouvoir sensibilisant par la méthode LLNA du pentyl rhamnoside

Dans le tableau 7, l'abréviation DPM signifie « désintégration par minute », le blanc est la référence et le DNCB est le dinitrochlorobenzène qui sert de témoin sensibilisant.

15 Les résultats montrent que le pentyl rhamnoside, même jusqu'à une concentration de 30%, n'est pas sensibilisant.

REVENDICATIONS

- 1- Utilisation d'un monomère de sucre réducteur, dont une fonction hydroxyle est substituée par un radical alkoxy en C₂-C₄₀, comme médicament.
5
- 2- Utilisation selon la revendication 1, caractérisée en ce que, dans le monomère de sucre réducteur, la fonction hydroxyle substituée est la fonction hydroxyle anomérique.
- 10 3- Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes; caractérisée en ce que le radical alkoxy comprend de 5 à 12 atomes de carbone.
- 4- Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le sucre réducteur est choisi dans le groupe constitué par le rhamnose, le fucose et le
15 glucose.
- 5- Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le médicament est destiné à réguler les mécanismes inflammatoires.
- 20 6- Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le médicament est destiné à la prévention ou au traitement des réactions ou pathologies allergiques, inflammatoires, immunitaires de la peau et/ou des muqueuses.
- 7- Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce
25 que le médicament est destiné à inhiber la réponse immune liée au stress inflammatoire.
- 8- Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le médicament est destiné à inhiber l'activation des leucocytes, la sécrétion des cytokines kératinocytaires, le phénomène d'hyperplasie kératinocytaire, le processus
30 d'apprêtement de l'antigène par les cellules dendritiques de la peau, la maturation des cellules présentatrices d'antigène, le phénomène de reconnaissance entre les lymphocytes et les cellules présentatrices d'antigène.

- 9- Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le médicament est destiné à la prévention ou au traitement des maladies choisies dans le groupe constitué de l'eczéma atopique et/ou de contact, des dermatoses inflammatoires, des dermatites irritatives, de l'acné, des maladies auto-immunes telles que le psoriasis, de la photo-immuno-suppression, du vitiligo, du pityriasis, des sclérodermies, de l'arthrite rhumatoïde, de la maladie de Crohn ou du rejet de greffe.
- 10- Utilisation selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que le médicament est destiné à la prévention et au traitement des dérives inflammatoires chroniques liées au vieillissement et ses conséquences.
- 11- Utilisation selon la revendication 10, caractérisée en ce que le médicament est destiné à la prévention ou au traitement des maladies choisies dans le groupe constitué par les sensibilisations anaphylactiques, les anomalies pigmentaires de la peau, l'hypervascularisation dermique, les fissurations inflammatoires.
- 12- Utilisation selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que le médicament est destiné à diminuer le caractère allergisant et/ou irritant d'une composition ou d'un parfum.
- 13- Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le médicament comprend 0,001 à 50% en poids dudit monomère de sucre réducteur.
- 14- Méthode de traitement cosmétique des peaux et/ou des muqueuses sensibles, irritées, intolérantes, à tendance allergique, âgées, soumises à un signal danger, présentant un trouble de la barrière cutanée, présentant des rougeurs cutanées ou présentant un déséquilibre immunologique non pathologique lié au vieillissement intrinsèque, extrinsèque ou hormonal, caractérisée en ce qu'elle consiste à appliquer sur la peau et/ou les muqueuses une composition comprenant au moins un monomère de

sucre réducteur dont une fonction hydroxyle, avantageusement la fonction hydroxyle anomérique, est substituée par un radical alkoxy en C₂-C₄₀.

5 15- Méthode de traitement cosmétique pour retarder le vieillissement naturel de la peau et/ou pour prévenir le vieillissement accéléré de la peau soumise aux agressions extérieures, notamment pour prévenir le vieillissement photo-induit de la peau, caractérisée en ce qu'elle consiste à appliquer sur la peau une composition comprenant au moins un monomère de sucre réducteur dont une fonction hydroxyle, avantageusement la fonction hydroxyle anomérique, est substituée par un radical alkoxy
10 en C₂-C₄₀.

16- Méthode de traitement cosmétique selon la revendication 14 ou 15, caractérisée en ce que le sucre réducteur est choisi dans le groupe constitué par le rhamnose, le fucose et le glucose.

15 17- Méthode de traitement cosmétique selon l'une quelconque des revendications 14 à 16, caractérisée en ce que le radical alkoxy comprend de 5 à 12 atomes de carbone.

1/2

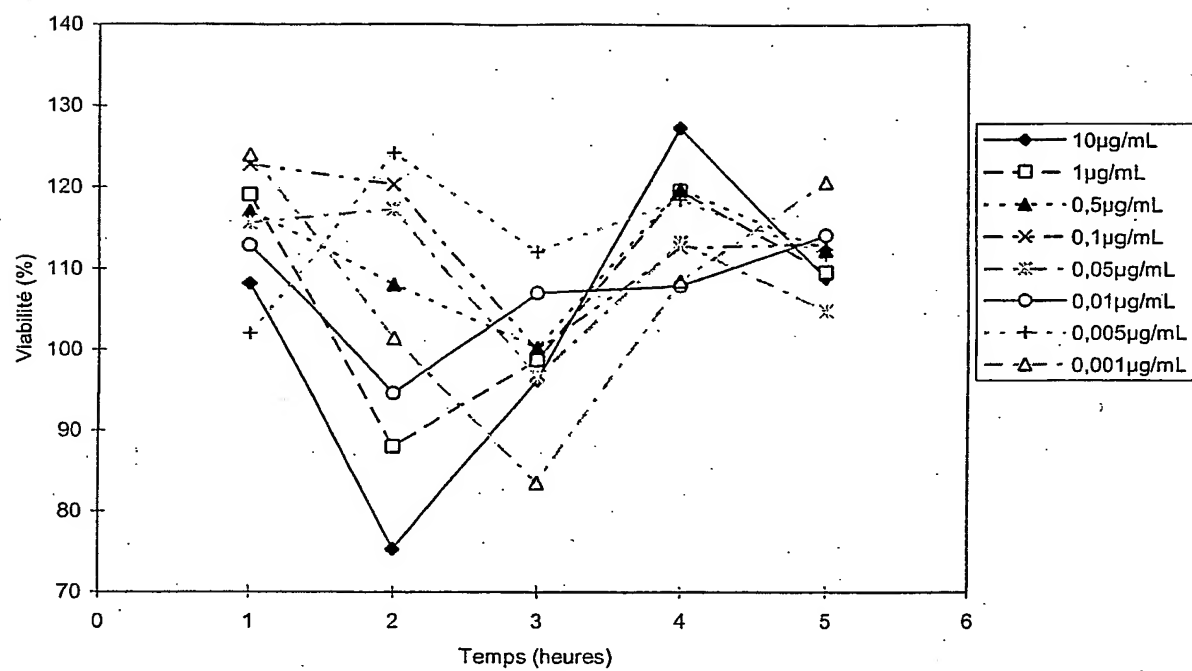


Fig. 1

2/2

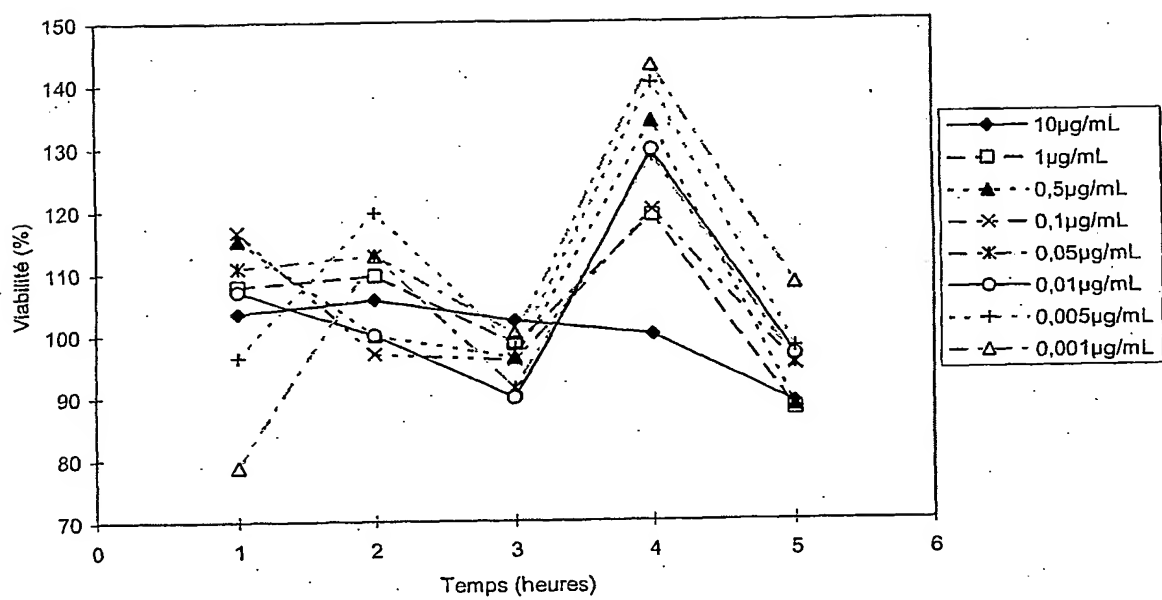


Fig. 2